

10.078.182
08.21.2003

①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ Off nl gungsschrift
①⑪ DE 3104786 A1

⑤① Int. Cl. 3:
G01 P9/00

②① Aktenzeichen:
②② Anmeldetag:
④③ Offenlegungstag:

P 31 04 786.6
11. 2. 81
2. 9. 82

Behördeneigentum

⑦① Anmelder:
Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH, 6000 Frankfurt, DE

⑦② Erfinder:
Petermann, Klaus, Dr.-Ing., 7900 Ulm, DE

⑤④ »Verfahren und Anordnung zur Messung absoluter Drehungen«

Bei bekannten faseroptischen Ringinterferometern wird die Sagnac-Phasendifferenz mittels eines Regelkreises kompensiert, der technisch aufwendige akustooptische Modulatoren enthält. Die Erfindung gibt ein mit sägezahnförmigen periodischen Signalen arbeitendes Phasenkompensationsverfahren an, das die Verwendung technisch einfacher optischer Phasenmodulatoren gestattet.

(31 04 786)

DE 3104786 A1

DE 3104786 A1

110001

3104786

Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt (Main) 70

Z13-UL/Ja/rB
UL 81/9

Patentansprüche

1. Verfahren zur Messung absoluter Drehungen mittels eines eine Fläche mindestens einmal umschließenden Lichtweges unter Ausnutzung des Sagnac-Effektes, dadurch gekennzeichnet, daß das den Lichtweg (L) durchlaufende Licht einer Phasenmodulation unterworfen wird, bei der mindestens ein Modulationssignal wenigstens aus mindestens einem ersten im wesentlichen sägezahnförmigen periodischen Signal besteht, bei dem mindestens dessen Grundfrequenz f_0 mit Hilfe mindestens eines Regelsignales derart geregelt wird, daß mindestens die aufgrund der zu messenden Drehung entstehende Sagnac-Phasendifferenz im wesentlichen kompensiert wird, und daß aus dem Regelsignal wenigstens ein der Drehung entsprechendes Meßsignal gewonnen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich mindestens ein Modulationssignal mindestens ein zweites im wesentlichen periodisches Signal enthält, das im wesentlichen in feste Frequenz f_2 sitzt, und daß mittels

...

des Regelsignales zumindest die Grundfrequenz f_0 des ersten Signales derart geregelt wird, daß mindestens eine der Frequenz f_2 zugeordnete Signalamplitude einen minimalen Wert annimmt.

05 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das zweite Signal im wesentlichen aus einem monofrequenten Signal besteht.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß ein Modulationssignal mindestens
10 zwei im wesentlichen periodische sägezahnförmige Signale, mit unterschiedlichen Grundfrequenzen, enthält, deren Amplituden derart gewählt werden, daß mindestens ein durch ein Signal bewirkter Phasenhub des Lichtes im wesentlichen einen Wert von 2π oder einem ganzzahligen Vielfachen davon
15 annimmt.

5. Verfahren nach Anspruch 4; dadurch gekennzeichnet, daß das Modulationssignal zwei im wesentlichen periodische sägezahnförmige Signale mit den Grundfrequenzen f_0 bzw. f_1 enthält und daß im wesentlichen mindestens eine der zu den
20 Grundfrequenzen gehörende Amplitude derart geregelt wird, daß in einem detektierten Signal mindestens eine der zu den Grundfrequenzen f_0 bzw. f_1 gehörende Signalkomponente im wesentlichen vernachlässigbar wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß das eine sägezahnförmige Signal einen
25 flachen Anstieg und einen steilen Abfall während das andere sägezahnförmige Signal einen steilen Anstieg und einen flachen Abfall besitzt.

...

110001

3104786

- 3 -

UL 81/9

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein von mindestens einem Störgrößensensor erzeugtes Störsignal mittels mindestens einer Auswerteeinheit (A) mindestens ein Regelsignal derart beeinflusst, daß eine durch mindestens eine Störgröße bewirkte Phasenmodulation des den Lichtweg (L) durchlaufenden Lichtes im wesentlichen kompensiert wird.
8. Anordnung zur Durchführung des Verfahrens nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Sägezahngenerator (G) und mindestens ein Regelkreis (D, A, G, Ph, T) vorhanden ist derart, daß zumindest eine durch Drehung eines Lichtweges (L) bewirkte Sagnac-Phasenverschiebung des den Lichtweg (L) durchlaufenden Lichtes im wesentlichen kompensierbar ist.
9. Anordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens an einem Ende des Lichtweges (L) mindestens ein Phasenmodulator (Ph) vorhanden ist, der den elektrooptischen bzw. elastooptischen Effekt ausnutzt.
10. Anordnung nach Anspruch 8 oder Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine Auswerteeinheit (A) vorhanden ist, die zumindest aus einem von einem Detektor (D) erzeugten Detektionssignal mindestens ein Regelsignal bildet zur Frequenzregelung mindestens eines Sägezahngenerators (G), und die mindestens ein Auswertesignal erzeugt, derart, daß daraus eine zu messende Drehung bzw. mindestens eine weitere Meßgröße bestimmbar sind.
11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß in der Auswerteeinheit (A) mindestens ein Mikroprozessor vorhanden ist.

...

Licentia Patent-Verwaltungs-GmbH
Theodor-Stern-Kai 1
D-6000 Frankfurt (Main) 70

Z13-UL/Ja/rß
UL 81/9

Beschreibung

Verfahren und Anordnung zur Messung absoluter Drehungen

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Messung absoluter Drehungen nach dem Oberbegriff der Patentansprüche 1 und 8.

Derartige Verfahren bzw. Anordnungen werden insbesondere
05 in sogenannten Ringinterferometern benutzt, die den Sagnac-Effekt ausnutzen. Die Erfindung betrifft insbesondere ein Ringinterferometer, das in Lichtleitfasertechnik aufgebaut ist.

Ein derartiges Ringinterferometer wird anhand der FIG. 1
10 näher erläutert. Das von einer Lichtquelle Q ausgesandte Licht wird über eine optische Teilereinrichtung T, mit den Toren 1 bis 4, in die beiden Enden eines eine Fläche F mindestens einmal umschlingenden Lichtweges L, z.B. eine

- Lichtleitfaser, eingekoppelt. Die beiden, den Lichtweg L in entgegengesetzten Richtungen durchlaufenden Teillichtstrahlen interferieren in der Teilereinrichtung T, und ein entsprechendes Interferenzsignal gelangt zu einem
- 05 Detektor D, der dieses Signal beispielsweise in eine elektrische Spannung umwandelt. Wird ein derartiges Ringinterferometer gedreht, so erfährt das im Lichtweg L geführte Licht eine Phasenverschiebung, die sogenannte Sagnac-Phasenverschiebung 2φ , aus der die Drehung bestimmbar ist.
- 10 In der nicht vorveröffentlichten Patentanmeldung P 29 34 794.2 wurde vorgeschlagen, in den Lichtweg L einen akustooptischen Modulator einzufügen, der mittels eines elektrischen Regelkreises eine Kompensation der Sagnac-Phasenverschiebung 2φ bewirkt. Aus dem Kompensationssignal
- 15 ist dann die Drehung bestimmbar. Ein Nachteil einer derartigen Anordnung besteht darin, daß ein akustooptischer Modulator technisch sehr aufwendig ist, eine hohe elektrische Eingangsleistung erfordert und schwierig zu justieren ist.
- 20 Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Anordnung der eingangs genannten Art anzugeben, die die Verwendung technisch einfach herstellbarer optischer Modulatoren gestattet, die insbesondere als Phasenmodulatoren ausgebildet sind und auf dem elektrooptischen
- 25 und/oder elastooptischen Effekt beruhen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die in den kennzeichnenden Teilen der Patentansprüche 1 und 8 angegebenen Merkmale gelöst.

...

Zweckmäßige Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen zusammengestellt.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der in FIG. 1 gestrichelt gezeichneten schematischen Darstellung näher erläutert sowie durch die in den FIG. 2 bis 5 dargestellten schematischen Diagramme.

Gemäß FIG. 1 gelangt das vom Detektor D erzeugte Detektionssignal zu einer Auswerteeinheit A, beispielsweise einem Mikroprozessor, die daraus ein Regelsignal erzeugt zur
10 Regelung eines von einem Sägezahngenerator G erzeugten sägezahnförmigen Signales, das mindestens einen Phasenmodulator Ph regelt. Mittels eines derart aufgebauten Regelkreises ist insbesondere eine durch Drehungen hervorgerufene Sagnac-Phasenverschiebung 2ϑ kompensierbar. Ein
15 derartiges Kompensationssignal wird beispielsweise in der Auswerteeinheit A derart aufbereitet, daß es einer Anzeigeeinheit ANZ zuführbar ist, an der die Drehung ablesbar ist.

Im Lichtweg L befindet sich wenigstens ein Phasenmodulator Ph, der gemäß FIG. 1 nahe am Tor 1 angeordnet ist. Er könnte
20 te ebenso gut am Tor 2 angeordnet sein. Wird der Phasenmodulator Ph angesteuert, so bewirkt dieser eine Modulation der optischen Phase. $\oint \varphi(t)$ des Lichtes, wobei t die Zeit bedeutet. Das Empfangssignal I(t) am Photodetektor D ist dann allgemein gegeben als

$$25 \quad I(t) = C (1 + \cos (2\vartheta - [\oint \varphi(t) - \oint \varphi(t - \tau_L)]))$$

wobei C eine Konstante, τ_L die Laufzeit des Lichtes durch den Lichtweg L und 2ϑ die zu messende Sagnac-Phasenverschiebung aufgrund der Drehung des Ringinterferometers bezeichnen t.

...

Mit Hilfe einer elektrischen Signalverarbeitungseinrichtung, der Auswerteeinheit A, ist es möglich, ein optisches Signal $\oint \varphi(t)$ derart zu erzeugen, daß die Sagnac-Phasenverschiebung $2\varnothing$ gerade kompensiert wird. Das Signal $\oint \varphi(t)$ ist dann der Sagnac-Phasenverschiebung $2\varnothing$ direkt zugeordnet und kann deshalb direkt zur Bestimmung der Drehrate herangezogen werden.

Erfindungsgemäß wird der Phasenmodulator Ph dazu mit einem im wesentlichen sägezahnförmigen periodischen Signal angesteuert, so daß sich ein entsprechender sägezahnförmiger Verlauf auch für die modulierte Phase $\oint \varphi(t)$ des Lichtes ergibt gemäß

$$\oint \varphi(t) = d(t) = a \cdot t' / \tau \quad \text{mit } t' = t - \tau [t/\tau]$$

wobei τ die Periodendauer des Signales und das Symbol $[]$ "größtes Ganzes aus" bedeutet und a die maximale Amplitude der Sägezahnschwingung darstellt. Die Frequenz f_0 der Sägezahnschwingung ist gemäß $f_0 = 1/\tau$ gegeben. Eine derartige Sägezahnschwingung $\oint \varphi(t)$ ist in FIG. 2 dargestellt. Hierbei ist auf der Abzisse die Zeit t aufgetragen und auf der Ordinate die optische Phase $\oint \varphi$. Mit τ ist die Periodendauer des Signales bezeichnet. Eine ähnliche Darstellung ist in den FIG. 3 bis 5 gewählt. Die optische Phasendifferenz $\oint \varphi(t) - \oint \varphi(t - \tau_L)$ soll nun zur Kompensation der Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ dienen. In FIG. 3 ist dazu die Phasendifferenz $\oint \varphi(t) - \oint \varphi(t - \tau_L)$ dargestellt. Abgesehen von Pulsen P der Länge τ_L nimmt diese Phasendifferenz den Wert $a \cdot \tau_L / \tau$ an bzw. mit $f_0 = 1/\tau$ auch $a \cdot f_0 \cdot \tau_L$.

...

Soll nun die Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ kompensiert werden, gemäß der Formel $2\varnothing = a \cdot f_0 \cdot \tau_L$, so muß die Auswerteeinheit A ein Regelsignal erzeugen, das die Frequenz f_0 des Sägezahngenerators G entsprechend regelt, d.h. die Kompensation der Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ wird auf eine Frequenz-

05 regelung zurückgeführt. Weiterhin ist es möglich, die Frequenz f_0 zu messen und daraus die zu messende Drehung zu berechnen.

Für eine sichere Funktionsweise sind die Pulse P der Länge τ_L störend. Als weitere Ausbildung der Erfindung ist es

10 deshalb vorteilhaft, die maximale Amplitude a der optischen Phase gerade zu 2π oder einem ganzzahligen Vielfachen hiervon zu wählen. Die Pulse P treten dann in der vom Photodetektor empfangenen Intensität $I(t)$ nicht mehr in Erscheinung. Deshalb wird in einer weiteren Ausbildung der Erfindung

15 die Regelung der Amplitude a derart vorgenommen, daß die zur Frequenz f_0 gehörende Signalkomponente von $I(t)$ möglichst vollständig verschwindet.

Ein weiteres Problem besteht darin, daß die empfangene Intensität $I(t)$ wegen deren \cos -Abhängigkeit, sich bei kleinen Änderungen von \varnothing oder von $[\int \varphi(t) - \int \varphi(t - \tau_L)]$ lediglich

20 schwach ändert, so daß eine exakte Kompensation erschwert wird. Wird nun beispielsweise zusätzlich der Phasenmodulator Ph oder ein weiterer Phasenmodulator im Lichtweg L mit einem periodischen, im wesentlichen sinusförmigen Signal mit

25 der festen Frequenz f_2 angesteuert, so ergibt sich bei $I(t)$ am Photodetektor D eine Signalkomponente bei der Frequenz f_2 , die nur dann verschwindet, wenn die Phasendifferenz $[\int \varphi(t) - \int \varphi(t - \tau_L)]$ und die Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ sich gerade kompensieren. In einer weiteren Ausbildung der

...

Erfindung wird deshalb die Frequenz f_0 der Sägezahnschwingung derart geregelt, daß die Signalamplitude der Frequenzkomponenten f_2 am Photodetektor D im wesentlichen verschwindet.

- 05 Wenn sich die Drehrichtung und damit das Vorzeichen der Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ umkehren, muß zur Kompensation auch die positive Steigung des Sägezahnes, wie in FIG. 2 dargestellt, in eine negative Steigung umgewandelt werden. Dies erfordert im allgemeinen einen erhöhten Aufwand in
- 10 der Regelungselektronik der Auswerteeinheit A. Deshalb wird in einer weiteren Ausbildung der Erfindung der Phasenmodulator Ph oder ein weiterer im Lichtweg L befindlicher Phasenmodulator mit einem weiteren sägezahnförmigen Signal der Frequenz f_1 angesteuert.
- 15 In einem Beispiel wurde der Phasenmodulator mit beiden Signalen angesteuert, so daß sich $\oint \varphi(t)$ aus zwei Anteilen $\oint \varphi(t)$ und $\oint \varphi_1(t)$ zusammensetzt, gemäß der Formel $\oint \varphi(t) = \oint \varphi_0(t) + \oint \varphi_1(t)$, wobei $\oint \varphi_0(t)$ eine positive Steigung des Sägezahns bzw. $\oint \varphi_1(t)$ eine negative Steigung aufweist, wie dies in FIG. 4 bzw. FIG. 5 dargestellt ist. Die Sagnac-Phasendifferenz $2\varnothing$ wird nun gerade dann kompensiert, wenn gilt

$$2\varnothing = a \cdot (f_0 - f_1) \cdot \tau_L$$

- wobei a, wie bereits beschrieben, zum Beispiel auf den festen Wert $a = 2\pi$ gehalten wird. Wird beispielsweise die Frequenz f_1 auf einen festen Wert eingestellt, so wird f_0 mit Hilfe der elektrischen Signalverarbeitungseinrichtung so geregelt, daß obige Beziehung erfüllt ist. Ist beispielsweise $f_1 = 1\text{MHz}$ und ändert sich f_0 zwischen 500kHz und
- 30 1,5 MHz, so lassen sich Drehungen bis zu $\pm 300^\circ/\text{sec}$ sicher

...

1008

3104786

- 10 -

UL 81/9

detektieren, wenn eine Faserspule (Lichtweg L) mit einem Durchmesser von 10cm verwendet wird, wobei die Länge des Lichtweges L beliebig ist, z.B. 100m bis 1km.

Weiterhin ist es erfindungsgemäß möglich, ein oder mehrere Störgrößen, z.B. magnetische Felder, zu berücksichtigen, die eine Messung von Drehungen beeinträchtigen. Dazu werden die von entsprechenden Sensoren, z.B. Magnetometern, erzeugten Signale in der Auswerteeinheit derart verarbeitet, daß eine optische Stör-Phasendifferenz mittels des Regelkreises im wesentlichen kompensiert wird.

...

Nachgericht

-11-

1/1

Nummer:

Int. Cl.³:

Anmeldetag:

Offenlegungstag:

3104786

G01P 9/00

11. Februar 1981

2. September 1982

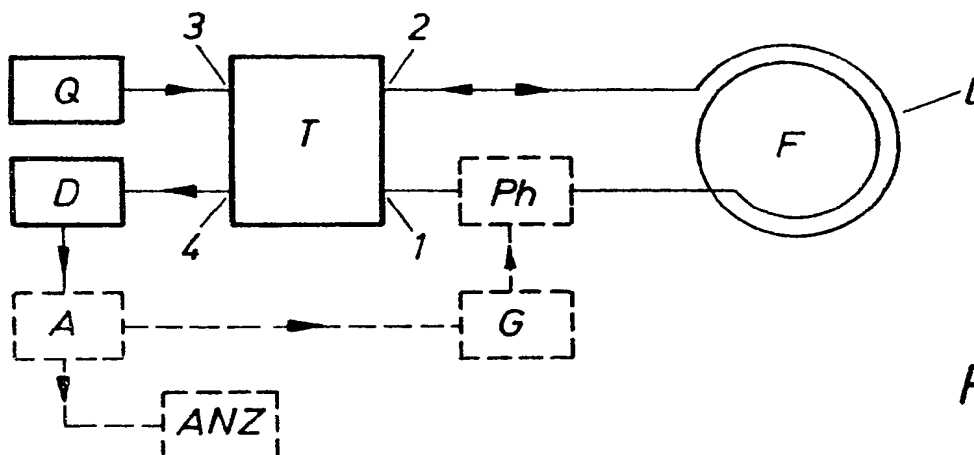


FIG. 1

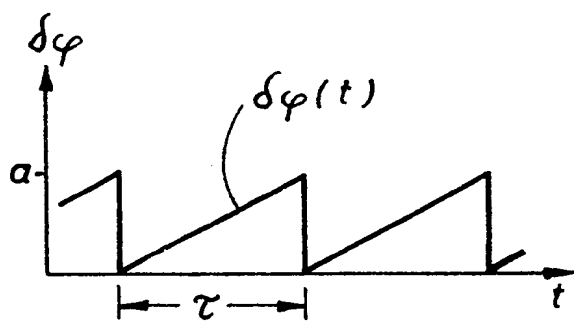


FIG. 2

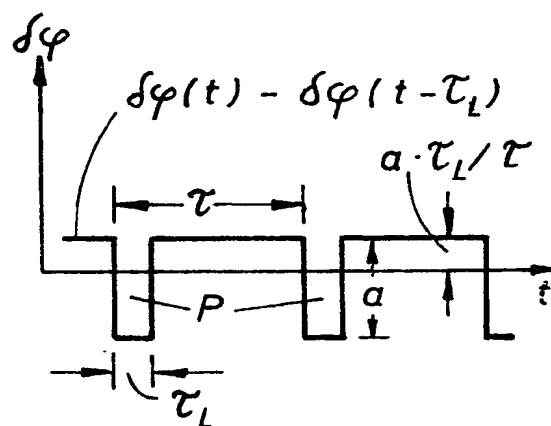


FIG. 3

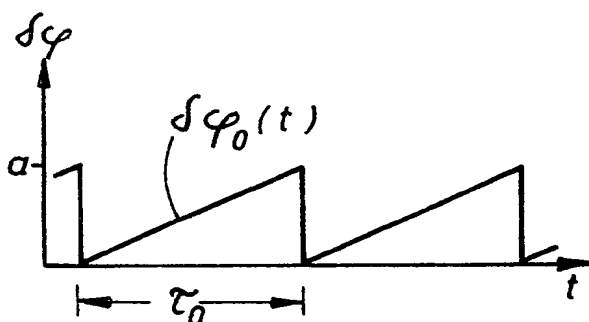


FIG. 4

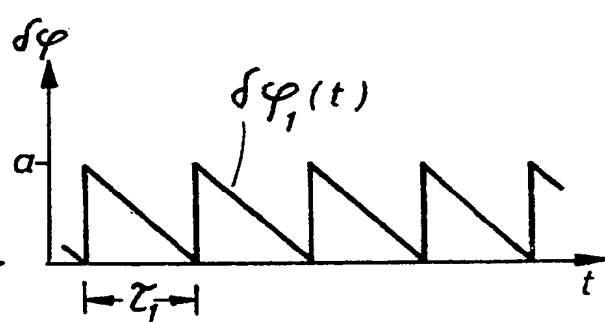


FIG. 5